

УДК 621.642.07

**ПРОБЛЕМЫ НОРМАТИВНО-ТЕХНИЧЕСКОЙ БАЗЫ В РЕЗЕРВУАРОСТРОЕНИИ**

*канд. техн. наук, доц. Л.М. СПИРИДЕНОК*  
(Полоцкий государственный университет);

*И.А. СВИРКО*  
(ОАО «Нефтезаводмонтаж», Новополоцк)

*Исследуются вопросы разработки технического кодекса установившейся практики «Стальные вертикальные цилиндрические резервуары для хранения нефти и нефтепродуктов. Правила проектирования и устройства». Рассмотрены вопросы по регламентированию требований изготовления резервуаров методами рулонирования и листовой сборки в зависимости от объема резервуара, методика расчета двустенного резервуара, расчета стенки резервуара методом «средней точки». Разработанный нормативный документ позволит проектным организациям и промышленным предприятиям Республики Беларусь развивать деятельность по проектированию и выпуску резервуаров, повысить надежность, долговечность и экологическую безопасность этих сооружений.*

Одно из важнейших направлений государственной политики – модернизация основных производственных фондов энергосистемы Республики Беларусь, в том числе модернизация и увеличение суммарной емкости парков хранения нефти и нефтепродуктов. В настоящее время на предприятиях Республики Беларусь большинство резервуаров имеют значительный срок эксплуатации. Построенные в 60 – 70-е годы XX столетия резервуары в ближайшее время потребуют замены. По данным концерна «Белнефтехим» в период до 2012 года потребуется строительство (замена) более 180 резервуаров. При этом общий вес металлоконструкций этих резервуаров более 25 тысяч тонн.

Имеющийся резервуарный парк страны расширяется за счет возведения новых баз хранения нефти и нефтепродуктов. Так, в 2009 году запланирована реализация проектов по строительству 2-х резервуаров с защитной стенкой объемом 50 000 м<sup>3</sup> на ЛПДС «Мозырь», ведутся проектно-изыскательские работы по строительству еще двух аналогичных резервуаров. На ОАО «Нафтан» начаты работы по реализации проекта «Расширение базы хранения нефти» со строительством парка общей емкостью 130 000 м<sup>3</sup>. Ведутся работы по проектированию и подготовке к монтажу резервуаров на ОАО «Мозырский НПЗ», ОАО «Нафтан» и других объектах.

Разработанные в 1980-х годах серии типовых проектов на изготовление металлических резервуаров не учитывают специфические особенности и реальное состояние площадок строительства, передовые методы изготовления и монтажа резервуаров, новые аспекты научной и нормативной базы проектирования. Данные проекты в современных условиях строительства практически не используются. В настоящее время проектирование и поставка резервуаров в Беларусь осуществляется Россией, Польшей или Украиной, так как проектные организации нашей республики не могут развивать деятельность по проектированию резервуаров из-за отсутствия технических нормативных правовых актов, отражающих правила проектирования и устройства резервуаров, что является одним из основных сдерживающих факторов.

**Основная часть.** В 2008 году специалистам кафедры трубопроводного транспорта УО «Полоцкий государственный университет» и ОАО «Нефтезаводмонтаж» (г. Новополоцк) был совместно разработан Технический кодекс установившейся практики (ТКП) «Стальные вертикальные цилиндрические резервуары для хранения нефти и нефтепродуктов. Правила проектирования и устройства».

Главной причиной разработки ТКП стала необходимость создания единого нормативного документа на проектирование и изготовление резервуаров с установлением общих требований для группы однородной продукции, в котором нашли отражение второстепенные причины, такие как повышение требований к качеству их изготовления и внедрение новых, передовых методов изготовления, сварки и антикоррозионной защиты.

Задача ТКП – разработка комплекса основных требований по проектированию и изготовлению резервуаров, которые обеспечат высокое качество строительства резервуаров и безопасность их эксплуатации. Кодекс устанавливает требования к резервуарам номинальным объемом от 100 до 120 000 м<sup>3</sup> для хранения нефти и нефтепродуктов под избыточным давлением, близким к атмосферному. В Техническом кодексе установившейся практики сформулированы следующие требования: по конструктивным решениям элементов резервуара; по выбору материала; по расчету конструкций; по изготовлению конструкций; по сварке и контролю качества; по защите от коррозии; по оборудованию для безопасной эксплуатации.

При разработке ТКП принимались во внимание требования аналогичных нормативных документов Российской Федерации, Украины, Казахстана, Польши, европейский стандарт, нормы США.

**Некоторые основные положения ТКП по проектированию и устройству резервуаров**

1. Одной из основных проблем резервуаростроения является сложность обеспечения геометрической точности корпусов резервуаров, что оказывает существенное влияние на их надежность и долговечность. Технология изготовления резервуаров методом рулонирования хоть и является более индустриальной, однако имеет существенные недостатки. Сворачивание, разворачивание рулонов и формообразование краев полотнищ стенки приводит к охрупчиванию и снижению ударной вязкости металла, создает дополнительные напряжения и деформации, которые впоследствии в совокупности с другими факторами отрицательно влияют на прочность и долговечность конструкции. При этом метод рулонирования используется только для резервуаров небольшого объема, поэтому в ТКП регламентированы требования к изготовлению резервуаров методами рулонирования и листовой сборки в зависимости от объема резервуара, а также требования к геометрической точности листовых конструкций на стадии их изготовления.

Полистовый метод монтажа резервуаров предусматривает поставку элементов конструкций с завода-изготовителя в виде габаритных отправок марок – сборочных единиц и деталей. Сборка резервуара осуществляется непосредственно на монтажной площадке с использованием преимущественно полуавтоматической и автоматической сварки. Основными преимуществами листового метода являются:

- возможность сооружения резервуаров любых объемов и с любыми толщинами стенки с обеспечением требуемого качества сборки и сварки;
- исключение эффекта наклепа и снижения ударной вязкости, который присутствует при наворачивании полотнищ в рулоны и хранении их в свернутом положении;
- возможность обеспечения в процессе монтажа резервуаров более точной геометрической формы, что благоприятно сказывается на их эксплуатации.

Развитие технологии сварочного производства, совершенствование методов автоматической и механизированной сварки резервуаров в условиях монтажной площадки позволили сооружать резервуары любых объемов листовым методом с обеспечением требуемой геометрической формы, высокого качества их сборки и сварки, что существенно повышает надежность конструкций и увеличивает срок эксплуатации резервуаров.

2. В резервуаростроении возрастает доля резервуаров с защитной стенкой (установленных в стальном стакане). Это связано с повышением требований надежности и экологической безопасности отдельных резервуаров и терминалов. Методика расчета двустенного резервуара должна производиться с учетом влияния неосесимметричной гидродинамической нагрузки от разливающегося продукта, так как проведенные расчеты показали, что конструкция двустенного резервуара без усиления основной и защитной стенок не обеспечивает локализацию аварии [1]. Напротив, происходит разрушение защитной стенки и разлив продукта в окружающую среду. При этом процесс развивается по следующему сценарию. Образуется вертикальный разрыв на всю высоту стенки основного объема (рис. 1, а). Продукт выливается из основного объема, достигает защитной стенки и оказывает на нее ударное воздействие (рис. 1, б). Как показали расчеты, в абсолютном большинстве случаев защитная стенка с толщинами поясов, назначенными по результатам статического расчета, не выдерживают локального гидродинамического нагружения. Ситуация усугубляется тем, что разорванная стенка основного объема раскрываясь ударяет по внутренней поверхности защитной стенки (рис. 1, в). Поскольку защитная стенка – тонкостенная оболочечная конструкция, то воздействие сосредоточенной ударной нагрузки неминуемо приводит к ее разрушению.

Очевидно, что неосесимметричный характер полученной нагрузки, а также ее высокая интенсивность требуют применения специальных конструктивных мероприятий по усилению защитной стенки.

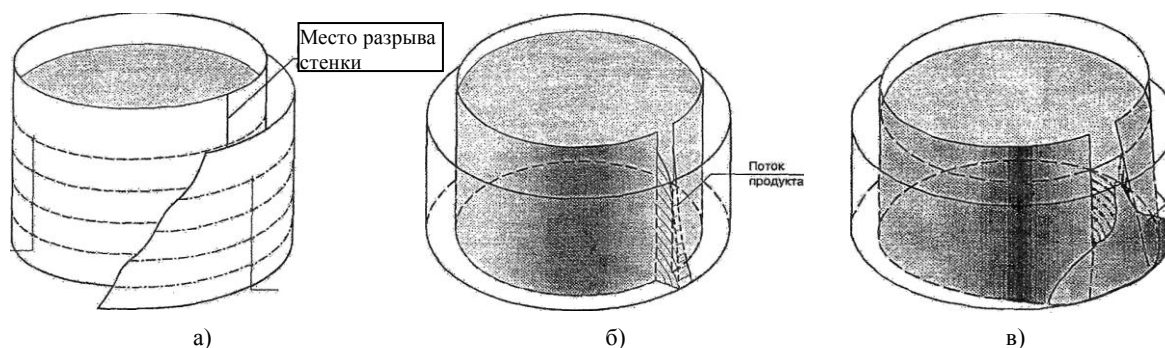


Рис. 1. Процесс развития аварии:

- а – момент образования тещины; б – начало воздействия продукта на защитную стенку;  
в – соударение основной и защитной стенок

Наиболее рациональной является такая схема усиления внутренней оболочки, которая позволяет замедлить процесс раскрытия поврежденной стенки с тем, чтобы пропустить в межстенное пространство

как можно больше жидкости до того, как внутренняя и внешняя оболочки войдут в контакт. Наличие достаточного количества жидкости как внутри рабочего объема, так и между стенками резервуара приводит к частичному выравниванию давлений на внутреннюю оболочку и замедляет ее движение в радиальном направлении. Этот эффект может быть достигнут путем применения в качестве бандажей стальных тросов, способных воспринимать значительные нагрузки при деформациях, достигающих 2...3,5 %. Кроме того, для повышения жесткости защитной стенки следует применить систему горизонтальных кольцевых ребер, установленных с ее внутренней стороны (рис. 2). Система тросов не только замедляет процесс движения разорванной стенки, но и сохраняет в процессе аварии ее форму, близкую к цилиндрической.



Рис. 2. Межстенное пространство резервуара с защитной стенкой  
(внешний резервуар усилен ребрами жесткости; внутренний резервуар усилен канатами)

В процессе обработки результатов была выявлена закономерность распределения поля давления, действующего на защитную стенку. Схема приложения нагрузки для расчета защитной стенки представлена на рисунке 3.

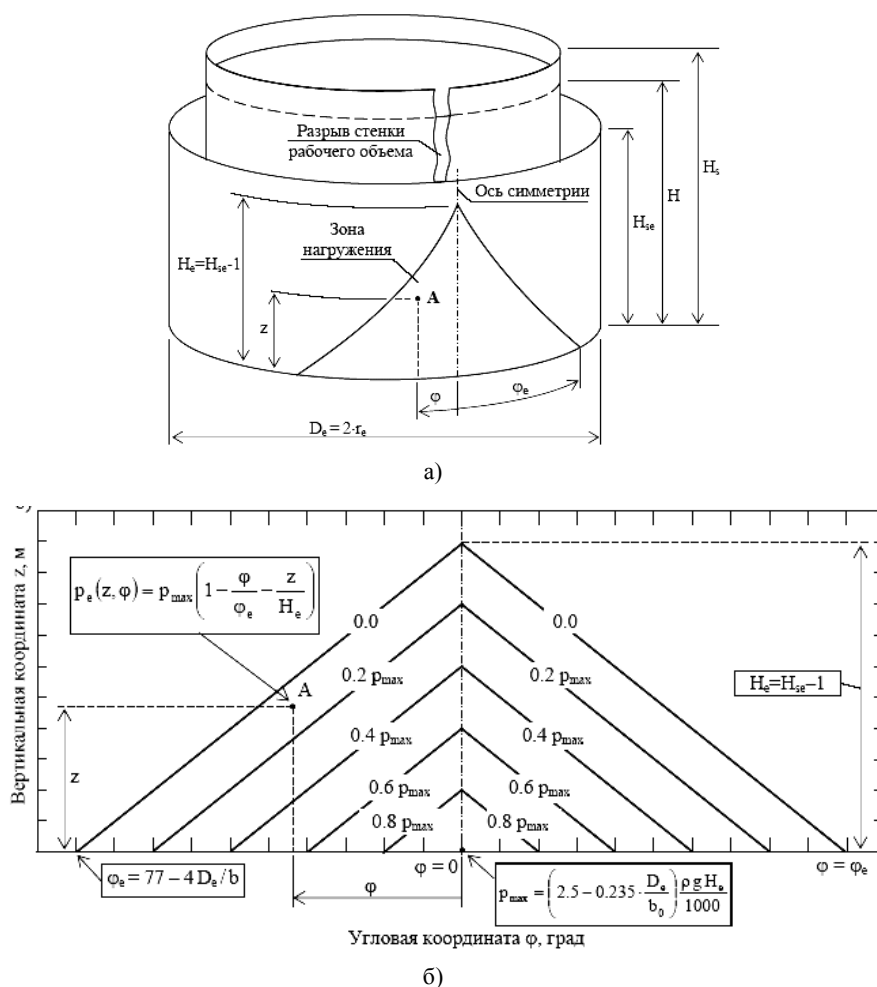


Рис. 3. Схема приложения нагрузки для расчета защитной стенки:  
а – общий вид; б – развертка

Зависимость распределения поля давления, действующего на защитную стенку, может быть представлена следующей формулой:

$$P(z, \varphi) = P_{MAX} \left( 1 - \frac{\varphi}{\varphi_0} - \frac{z}{H_0} \right),$$

где  $z, \varphi$  – соответственно вертикальная и угловая координаты расчетной точки;  $P_{max}$  – максимальное значение давления жидкости на защитную стенку;  $\varphi_0$  и  $H_0$  – соответственно угловая и высотная границы приложения нагрузки ( $\varphi_0 = 77 - 0,4D_e$  и  $H_0 = H_e - 1$ ).

При этом принимается, что  $P_{MAX} = (2,5 - 0,0235D_e) \rho g H_0$ .

Достоинством полученной закономерности являются возможность проектирования резервуаров с защитной стенкой без применения дорогостоящих вычислительных комплексов. Вместе с тем полученная формула позволяет выполнять корректное проектирование усиления защитной стенки и фундамента, не требующее при этом высокой квалификации исполнителей расчета.

3. Ключевым этапом проектирования вертикальных стальных цилиндрических резервуаров является назначение толщин стенки исходя из условия прочности и устойчивости. Сравнение отечественных и зарубежных нормативных документов по резервуаростроению показывает, что методика прочностного расчета этих сооружений основана на устаревших представлениях работы стенки под нагрузкой [2].

Мировые стандарты по резервуаростроению учитывают при проектировании стенки эффект, связанный со ступенчатым характером изменения ее толщины. Поскольку при действии гидростатической нагрузки толщина любого пояса стенки должна быть больше толщины соседнего верхнего участка, то максимальные деформации в пределах каждого пояса возникают не на уровне его нижней кромки, а несколько выше, на расстоянии  $x_0$  (рис. 4).

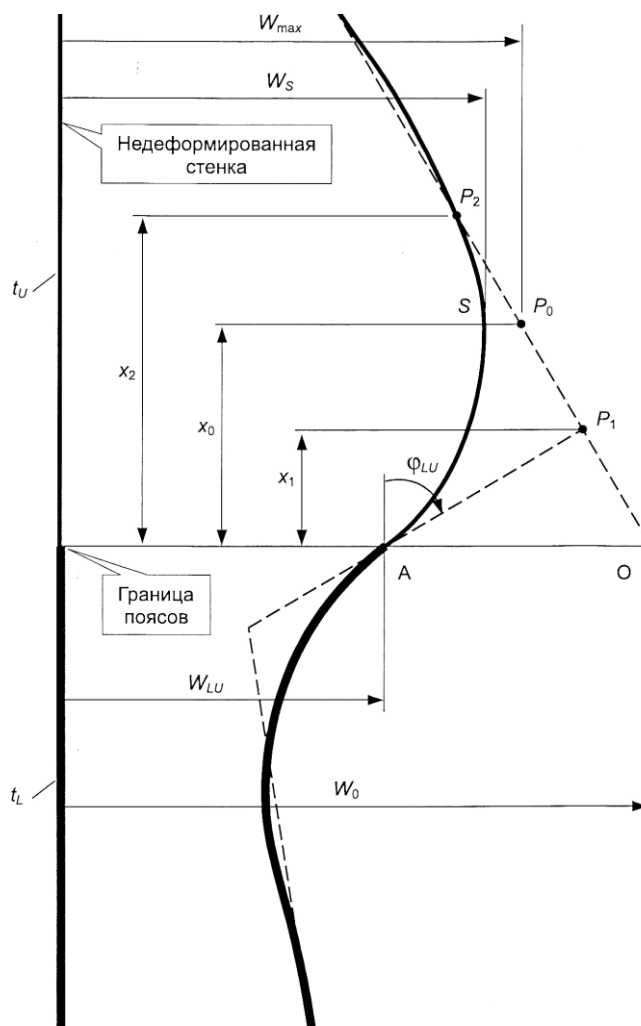


Рис. 4. Деформация стенки на границе поясов

Существует несколько методик определения расстояния  $x_0$  и расчета толщины стенки.

В Техническом кодексе установившейся практики применен новый метод уточненного расчета стенки резервуара – «метод средней точки».

Согласно этому методу толщина стенки определяется по следующим формулам:

$$t_{ud} = 0,001\rho g(H_i - x_L) + 1,2p \frac{r}{R} + \Delta t_{cu} + \Delta t_{mu}; \quad (1)$$

$$t_{ug} = \left[ 0,001\rho_g g(H_{ig} - x_L) + 1,25p \right] \frac{r}{R} + \Delta t_{mu}, \quad (2)$$

где  $x_L = \sqrt{r(t_L + \Delta t_{CL} + \Delta t_{ML})}$ ;  $R = \frac{R_{yn}\gamma_c\gamma_t}{\gamma_m\gamma_n}$ .

Формула (1) предназначена для расчета режима эксплуатации, формула (2) – для режима испытаний. Выбирают толщину стенки, максимальную из двух полученных. Однако при расчете первого пояса принимаем  $x_0 = 0$ .

В таблице представлены толщины нижних пяти поясов стенки резервуара, полученные «методом средней точки» и по «котельной» формуле.

Толщины нижних пяти поясов стенки резервуара

| Шифр резервуара  | Объем, тыс. м <sup>3</sup> | Номер пояса  |              |              |              |             |
|--|----------------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|-------------|
|  |                            | 1            | 2            | 3            | 4            | 5           |
| P-1  | 1                          | 3,65(3,65)   | 2,76(2,79)   | 2,36(2,40)   | 1,97(2,00)   | 1,57(1,60)  |
| P-2  | 2                          | 5,31(5,31)   | 3,99(4,07)   | 3,42(3,49)   | 2,84(2,91)   | 2,27(2,32)  |
| P-3  | 5                          | 6,38(6,38)   | 4,76(4,89)   | 4,08(4,19)   | 3,39(3,49)   | 2,70(2,79)  |
| P-4  | 10                         | 10,03(10,03) | 7,38(7,68)   | 6,32(6,58)   | 5,25(5,49)   | 4,17(4,39)  |
| P-5  | 10                         | 11,84(11,84) | 9,20(9,45)   | 8,31(8,53)   | 7,41(7,62)   | 6,51(6,71)  |
| P-6  | 20                         | 16,58(16,58) | 12,10(12,59) | 10,25(10,67) | 8,36(8,75)   | 6,48(6,83)  |
| P-7  | 30                         | 18,95(18,95) | 14,05(14,39) | 11,64(12,19) | 9,49(10,00)  | 7,35(7,80)  |
| P-8  | 50                         | 24,72(25,22) | 20,26(19,15) | 15,21(16,23) | 12,43(13,31) | 9,59(10,39) |
| P-9  | 100                        | 36,22(38,65) | 29,67(27,85) | 19,53(21,88) | 14,02(15,91) | 8,34(9,95)  |
| <i>Примечание.</i> Данные в скобках получены по «котельной» формуле. |                            |              |              |              |              |             |

Как видно из представленных данных, разница в толщине стенки, рассчитанной двумя методами, становится более ощутимой с ростом номера пояса и объема резервуара. «Метод средней точки» является приоритетным, так как при проектировании резервуаров с полученными толщинами стенки мы не только обеспечиваем надежность резервуара, но и имеем существенную экономию металла.

**Закключение.** Разработанный нормативный документ позволит проектным организациям и промышленным предприятиям Республики Беларусь развивать деятельность по проектированию и выпуску резервуаров, повысить надежность, долговечность и экологическую безопасность этих сооружений.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Еленицкий, Э.Я. Расчет защитной стенки вертикального цилиндрического стального резервуара в условиях аварии / Э.Я. Еленицкий, О.В. Дидковский, О.В. Худяков // Новые решения конструкций, технологии сооружения и ремонта стальных резервуаров: материалы междунар. науч. конф., Самара – Нижний Новгород, 12 – 17 авг. 2007 г. – Самара, 2007. – С. 164 – 159.
2. Еленицкий, Э.Я. Уточненный расчет прочности стенки вертикальных цилиндрических стальных резервуаров / Э.Я. Еленицкий, О.В. Дидковский, О.В. Худяков // Новые решения конструкций, технологии сооружения и ремонта стальных резервуаров: материалы междунар. науч. конф., Самара – Нижний Новгород, 12 – 17 авг. 2007 г. – Н. Новгород, 2007. – С. 153 – 159.

Поступила 26.05.2009